

## **Cambios en algunas propiedades químicas edáficas y en productividad de la cebada en rotación con arveja**

María Leticia Coronato, Gabriela Minoldo, Juan A. Galantini

---

*La incorporación de leguminosas en la rotación tiene ventajas sobre la nutrición del cultivo siguiente. Sin embargo, no se conoce exactamente la mejor estrategia para complementar con fertilizantes inorgánico ni como es la dinámica de las fracciones orgánicas en este tipo de rotación.*

---



En la Región Pampeana argentina, considerada una de las áreas de mejor aptitud en el mundo para la producción agrícola, muchos de los suelos han sido objeto de graves procesos degradativos debido a la labranza convencional continua durante más de un siglo. Uno de los efectos más relevantes ha sido la disminución de los niveles de materia orgánica (MO), con el consiguiente efecto negativo sobre la disponibilidad de los nutrientes, principalmente nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S), y junto con ellos, el descenso de su productividad potencial. En las últimas décadas estos efectos se agudizaron (Galantini y Rosell, 1997, García, 2006). Miglierina, 1991 reportó pérdidas de MO (20%), N total (50%) y P (30%) luego de 60 años de cultivo de las praderas vírgenes.

La MO está compuesta principalmente de carbono (C) (Rosell et al., 2001) y se encuentra dividida en compartimentos que tienen tiempos variables de ciclado y diferentes formas de protección (Galantini, 2005). Los materiales más jóvenes, compuestos principalmente por residuos poco transformados, son biológicamente más activos. Aquellos de edad intermedia contribuyen al estado físico, edáfico mientras que los más antiguos presentan una marcada influencia sobre la reactividad físico-química del suelo. Los primeros inciden predominantemente sobre la macroestructura, mientras que la MO más evolucionada mejora la microestructura (Buyanosky et al., 1994).

La SD genera innumerables beneficios, entre los que se destacan los mayores niveles de cobertura de los suelos y mejor control de la erosión, con rastrojos que aportan de materiales de diferente cantidad y calidad a las sustancias húmicas.

La rotación de cultivos modifica la cantidad y calidad de la MO del suelo (Galantini et al., 2002, 2004). Sus beneficios sobre la producción, involucran la combinación de sus efectos sobre las condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos y sobre la dinámica de las plagas y patógenos, todo esto, con importancias relativas variables de acuerdo a las

condiciones ambientales (Bullock, 1992). Desde el punto de vista productivo y de la calidad del suelo, la dinámica de la MO total aporta muy poco al estudio de los efectos de corto plazo, ya que las fracciones orgánicas más abundantes son las más transformadas y estables (Tan et al., 2007; Galantini, 2005), por lo que se necesita una gran cantidad de años para observar diferencias producto de las prácticas de manejo. Aquellas fracciones de naturaleza más dinámica como el carbono orgánico lábil o particulado (COP) resultan más sensibles a los efectos de los sistemas de producción (Dalal et al., 2005; Duval et al., 2013).

En la actualidad, los nutrientes que más frecuentemente limitan la producción en la región semiárida pampeana son el N, el fósforo P y el azufre S. La eficiencia de uso de los fertilizantes nitrogenados depende en gran medida de la cantidad, intensidad y frecuencia de las precipitaciones. La escasez hídrica, junto al estrés térmico durante el llenado del grano, ocasionan grandes fluctuaciones no sólo de los rendimientos, sino también en el contenido proteico y calidad de los granos (Galantini *et al.*, 2004; Landriscini *et al.*, 2015).

Se han observado importantes efectos de las leguminosas sobre las propiedades químicas del suelo (Miglierina *et al.*, 2000; Minoldo, 2010) así como sobre la nutrición, el balance nutricional y la productividad del cultivo de trigo implantado posteriormente (Galantini *et al.*, 1992; Minoldo, 2010; Sa Pereira et al., 2017). La incorporación de N a través de las leguminosas está sujeto a pérdidas al igual que el que es aportado al sistema a través de la aplicación de fertilizantes (Galantini *et al.*, 2002). Sin embargo, existe una ganancia de N residual, como consecuencia de la mayor fijación del N atmosférico y de la conservación más eficiente de este nutriente en forma orgánica (Azam *et al.*, 1986; Coronato *et al.*, 2014).

La región pampeana argentina es una de las áreas de producción de granos más importantes del mundo en las que se cultiva principalmente soja, maíz, girasol y trigo. En la década del '20 comenzó a cultivarse cebada (*Hordeum vulgare* L) aunque fue, durante mucho tiempo, considerada como un cultivo menor, destinado principalmente a maltería (Pastore y Teubal, 1992). La producción récord argentina de cebada cervecera de los últimos 15 años se registró en la campaña 2012, con un volumen de 5.158.190 Mg. El 90 % de la producción se concentra en la provincia de Buenos Aires, el resto se divide entre las provincias de Santa Fe, Córdoba y La Pampa (Figura 1).

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto combinado del cultivo de una leguminosa y la fertilización nitrogenada sobre algunas propiedades edáficas y la productividad de un cultivo posterior.

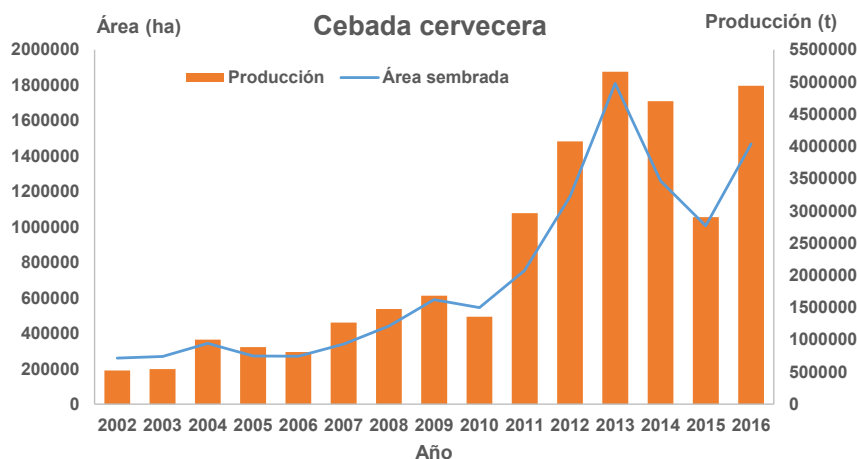


Figura 1. Área sembrada y rendimientos promedio de cebada cervecera en Argentina, periodo 2002-2016 (SAGPyA, 2016).

## Materiales y métodos

El ensayo se llevó a cabo en el establecimiento Cumelén, perteneciente al Sr. Javier Irastorza, situado geográficamente en el Paraje Las Oscuras (38°49' 6" S; 61°37' 22" O), partido de Coronel Dorrego de la provincia de Buenos Aires (Figuras 2a y 2b).

Se utilizó un lote de producción bajo siembra directa (Lote 12), cuyo suelo clasifica como *Argiustol Típico* (Soil Survey Staff, 2010) de profundidad efectiva variable de 60-70 cm hasta el horizonte petrocálcico.

En el año 2012, la totalidad del lote se cultivó con arveja (*Pisum sativum*) y dentro del mismo, se sembró una franja de 24 m de ancho (dos pasadas de sembradora) con trigo pan (*Triticum aestivum* var. Buck Guapo) (Figura 3a). Ambos cultivos se cosecharon en madurez fisiológica.

En 2013, la totalidad del lote se cultivó con cebada (*Hordeum vulgare* var. Scarlett). Dentro del área, se ubicaron 3 sectores, bloques o parcelas apareadas (I, II y III) que incluían a la arveja y al trigo (de 10 x 15 m cada una), además de una pequeña parcela intermedia sin vegetación (2 x 1,5 m), que se mantuvo sin cultivo mediante la aplicación de glifosato (Figura 3b). En macollaje, las plantas de cebada se fertilizaron con dosis crecientes de N (0, 25, 50 y 100 kg N ha<sup>-1</sup>) en forma de urea

El diseño experimental consistió en parcelas divididas en 3 bloques completos aleatorizados, utilizando el cultivo antecesor, como *Factor Principal*, y las dosis de fertilización nitrogenada como *Factor Secundario*.

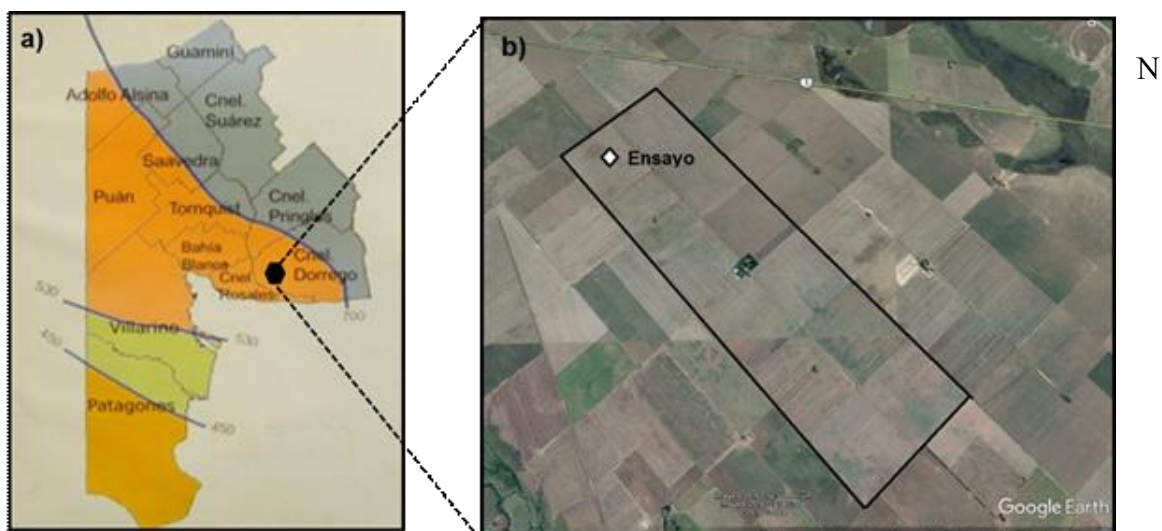


Figura 2. Ubicación geográfica del sitio muestreado y del lote en el establecimiento. (Google Earth, 2017)

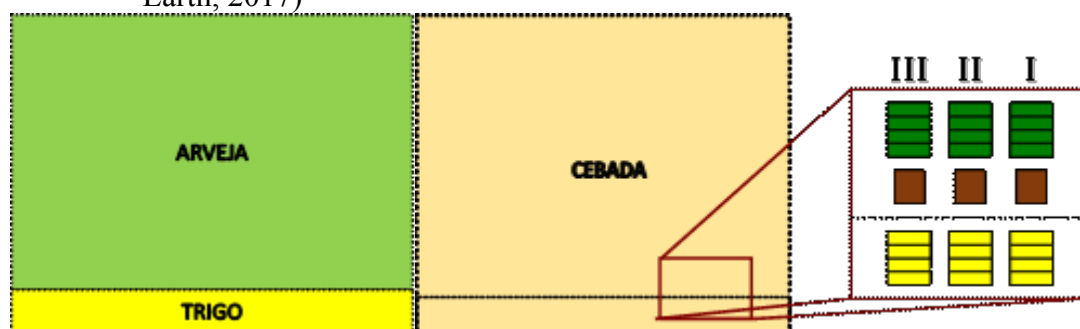


Figura 3. Diseño experimental del ensayo, a) año 2012 b) año 2013.

### Muestreo de suelo y determinaciones analíticas

Durante los ciclos de cultivo de la arveja y trigo (12/09, 3/11 y 10/12 de 2012) y al momento de la fertilización y cosecha de la cebada (13/8 y 27/11 de 2013), se tomaron muestras compuestas de suelo de los 0-20 cm y 20-60 cm de profundidad.

El suelo se secó al aire y se tamizó por 2000  $\mu\text{m}$ . Posteriormente, previa dispersión mecánica durante 60 minutos con agua destilada y bolitas de vidrio para favorecer la desagregación, se sometió a un fraccionamiento físico por tamaño de partícula (Galantini, 2005), para obtener la fracción gruesa (FG;  $>100 \mu\text{m}$ ), la fracción media (FM;  $100-53 \mu\text{m}$ ). La fracción fina (FF) se obtuvo por la diferencia entre fracciones mencionadas anteriormente. Las muestras de suelo entero y sus fracciones se sometieron a las siguientes determinaciones:

En el suelo entero ( $<2000 \mu\text{m}$ ):

Humedad gravimétrica, N disponible ( $\text{N-NO}_3^-$  y  $\text{N-NH}_4^+$ ) (Mulvaney, 1996), carbono orgánico total (COT), por combustión seca a  $1500^\circ\text{C}$  (Analizador automático LECO), pH (1:2,5) y P extraíble (Bray y Kurtz, 1945).

En las diferentes fracciones se determinó Carbono orgánico particulado grueso (COPg), en la FG, y fino (COPf), en la FM. A partir de las concentraciones de C y N, y utilizando un valor promedio de densidad aparente del suelo de  $1,26 \text{ Mg m}^{-3}$  se obtuvieron los contenidos en de  $\text{C Mg ha}^{-1}$  y  $\text{N kg ha}^{-1}$ , ponderando los valores medios en los 0-60 cm de profundidad.

### **Muestreo de plantas y determinaciones analíticas**

En madurez fisiológica de todos los cultivos, en cada subparcela se realizaron muestreos de material vegetal (dos cortes de 1 metro lineal) para la evaluación de la producción de granos y materia seca total aérea (MSta).

Se determinaron los rendimientos con sus respectivos componentes: peso total, peso grano, índice de cosecha y espigas por unidad de superficie (espigas  $\text{m}^{-2}$ ).

También se determinó la concentración de N total (%) en grano y paja por el método semimicro Kjeldahl (Bremner, 1996) y se estimó la proteína (%) de los granos de cebada utilizando un factor de 6,25 (CACBUE, 2013).

### **Análisis estadístico**

Para el análisis estadístico de los datos se realizaron los test ANAVA, diferencias de medias (DMS Fischer) y regresiones, utilizando el software INFOSTAT (Di Rienzo et al., 2009).

### **Resultados y Discusión**

En el año 2012 las precipitaciones en Las Oscuras mostraron una distribución anual acorde a las características medias de la zona, con lluvias más abundantes en otoño y primavera, intermedias en verano, y una estación seca en invierno (Figura 4). Durante dicho año las lluvias acumuladas alcanzaron 624 mm, de los cuales 437 mm ocurrieron entre los meses de mayo y diciembre. En junio y julio, se registraron valores casi nulos de 3 y 4 mm respectivamente.

Antes de la siembra del trigo, las concentraciones promedio de Pe de 0-20 cm del suelo fueron de  $19 \text{ mg kg}^{-1}$  y el pH igual a 6,3.

Bajo estas condiciones, los rendimientos medios de las parcelas ensayadas alcanzaron  $1480 \text{ kg ha}^{-1}$  en trigo y  $3300 \text{ kg ha}^{-1}$  en arveja, con índices de cosecha de 0,32 y 0,50, respectivamente. Datos suministrados por el productor de rendimientos medios del lote de arveja ( $1796 \text{ kg ha}^{-1}$ ) resultaron contrastantes. Las diferencias de casi un 50 % se atribuyeron

a inconvenientes de manejo a cosecha frecuentemente observadas en este cultivo; alto nivel de desgrane por dehiscencia explosiva de vainas y corta altura de despeje de las mismas. Los valores de proteína de los granos fueron 7,5 % en trigo y 12 % en arveja. Estos corresponderían a unos 19 y 66 kg de N ha<sup>-1</sup> exportados del sistema en los granos, resultados significativamente menores comparados con datos de ensayos anteriores (Coronato et al., 2014).

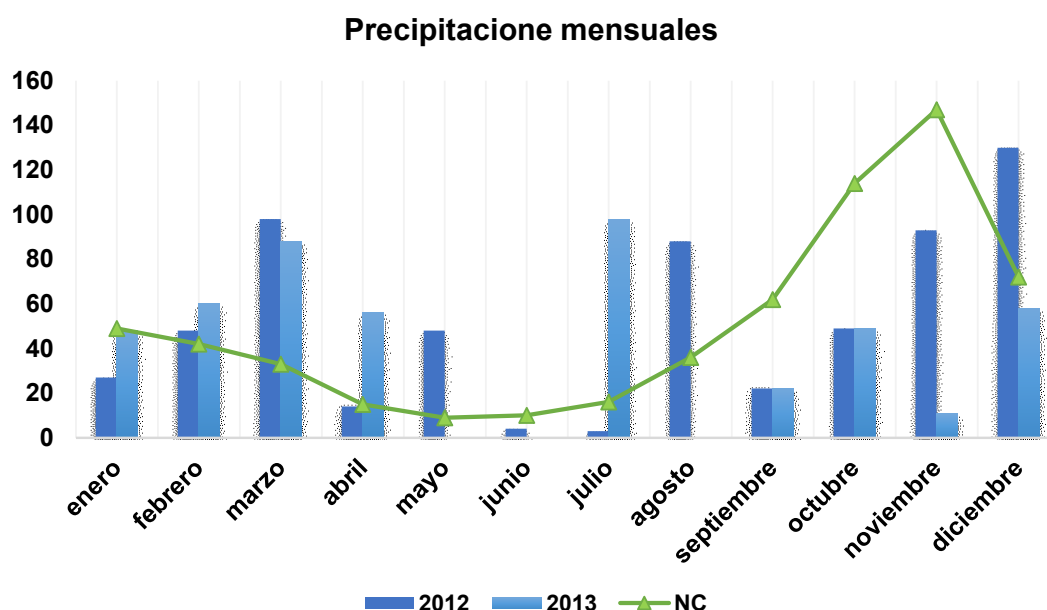


Figura 4. Distribución anual de las precipitaciones años 2012 y 2013 campo Cumelén y necesidad teórica de agua para cereales de invierno (Nc), (Paoloni y Vazquez 1985).

#### Efectos del cultivo de arveja

El cultivo de arveja produjo efectos significativos sobre el contenido de N disponible del suelo en la profundidad de 0-60 cm. Sin embargo, respecto al C de las distintas fracciones orgánicas no se observaron diferencias entre tratamientos luego de un año con leguminosa (Tabla 1). En este caso, la mayor disponibilidad de N y las precipitaciones en el periodo cercano al muestreo favorecerían una rápida descomposición de los residuos.

#### Efectos del barbecho

La combinación de la capacidad buffer del suelo y la extensa longitud del barbecho estival probablemente hayan enmascarado posibles variaciones en los niveles de pH en ambas profundidades estudiadas, así como entre antecesores del cultivo de cebada y las parcelas testigo con glifosato (Tabla 2). En superficie el pH se mantuvo próximo a 6,0 y en profundidad osciló entre valores de 7,1 y 7,7.

Conforme a lo observado en el pH, la disponibilidad Pe no mostró cambios entre años. Sin embargo se observó que luego del cultivo de trigo los niveles de Pe disminuyeron significativamente. En cambio cuando el antecesor fue arveja el Pe se mantuvo cercano a los valores del inicio del ensayo ( $19 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Esto, posible resultado de las características de su rizosfera, que acidifica el suelo liberando protones (Tang y Yu, 1999) e incrementando la disponibilidad de P inorgánico, el que será absorbido y transformado a formas orgánicas.

### Efecto sobre el cultivo posterior

Una estimación simple del aporte de N de una leguminosa es calcular el valor de reemplazo del fertilizante a la cual la cebada con antecesor trigo iguala en rendimiento a la cebada con antecesor leguminosa y sin fertilización (Ruffo y Parson, 2004). Este simple índice permite estimar el aporte de N de las leguminosas, a pesar de no considerar los efectos de rotación a nivel químico, físico y biológico del suelo los cuales pueden ser muy importantes dentro del sistema.

Tabla 1. Propiedades químicas del suelo en diciembre 2012, luego de la cosecha de arveja y en madurez fisiológica del trigo.

| Antecesor | FF  | COT                 | COPg      | COPf  | N disp.   | H°  |
|-----------|-----|---------------------|-----------|-------|-----------|-----|
|           | (%) | Mg ha <sup>-1</sup> | (0-20 cm) |       | (0-60 cm) | (%) |
| Arveja    | 41  | 33,6 a              | 2,1 a     | 5,8 a | 244 ab    | 16  |
| Trigo     | 41  | 34,8 a              | 2,5 a     | 4,9 a | 165 a     | 14  |
| Glifosato | 40  | 37,0 a              | 2,3 a     | 6,5 a | 322 b     | 19  |

COT, COPg y COPf: carbono orgánico total, particulado grueso y particulado fino ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) de 0-20 cm de profundidad. H°: porcentaje de humedad y N disp. (Nitrógeno disponible,  $\text{kg ha}^{-1}$ ) de 0-60 cm de profundidad. Letras diferentes entre antecesores indican diferencias significativas ( $\alpha < 5\%$ ).

En 2013, las precipitaciones alcanzaron 490 mm. Tanto las curvas de producción de MSta como grano de cebada mostraron comportamientos diferentes de respuesta al antecesor y a la fertilización. Tanto para la producción de MSta como para el rendimiento en grano, la cebada con antecesor leguminosa mostró rendimientos superiores independientemente de las dosis de urea aplicada. Las diferencias alcanzaron los  $1900 \text{ kg de MSta ha}^{-1}$  y  $1094 \text{ kg grano ha}^{-1}$  cuando la cebada se mantuvo sin fertilizar.

En ambos casos, los aumentos en la producción por efecto de la fertilización en la cebada con antecesor gramínea no alcanzaron el rendimiento de cebada cultivado después de arveja sin N.

Tabla 2. Valores de pH, P extraíble y N disponible en 0-20 y 20-60 cm del suelo, antes y después del barbecho.

| Antecesor | Prof.<br>(cm) | pH   |      | Pe<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) |      | N disp.<br>(kg ha <sup>-1</sup> ) |      |
|-----------|---------------|------|------|------------------------------|------|-----------------------------------|------|
|           |               | 2012 | 2013 | 2012                         | 2013 | 2012                              | 2013 |
| Arveja    | 0-20          | 6,2  | 6,0  | 21,8                         | 19,1 | 114                               | 69   |
|           | 20-60         | 7,5  | 7,7  | -                            | -    | 130                               | 159  |
|           | 0-60          |      |      |                              |      | 244                               | 228  |
| Trigo     | 0-20          | 6,2  | 6,1  | 13,3                         | 12,5 | 90                                | 48   |
|           | 20-60         | 7,1  | 7,1  | -                            | -    | 75                                | 150  |
|           | 0-60          |      |      |                              |      | 165                               | 154  |
| Glifosato | 0-20          | 5,8  | 5,6  | 16,7                         | 15,5 | 192                               | -    |
|           | 20-60         | 7,0  | 6,9  | -                            | -    | 130                               | -    |
|           | 0-60          |      |      |                              |      | 322                               |      |

Pe; P extraíble (mg kg<sup>-1</sup>), N disp.; N disponible (kg ha<sup>-1</sup>).

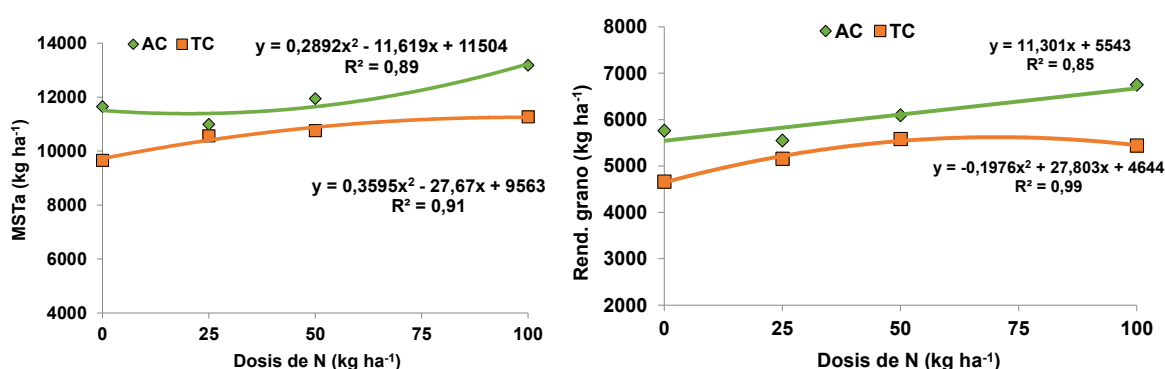


Figura 5. Rendimientos de materia seca total aérea y (kg ha<sup>-1</sup>) de cebada (MSta) con antecesor arveja (AC) o trigo (TC) vs dosis de N (kg ha<sup>-1</sup>).

Este hecho demostró que los beneficios de la inclusión de arveja en la rotación no sólo está supeditada al aporte de N vía fijación simbiótica, sino que demuestra además, la existencia de otros efectos positivos adicionales, como podrían ser cambios en la disponibilidad de P desde formas menos lábiles por cambios de pH edáfico en la rizosfera de la leguminosa y su transformación a formas orgánicas.

Adicionalmente al efecto positivo de la rotación con leguminosa, la cebada respondió a las mayores dosis de N con rendimientos máximos 6750 kg grano ha<sup>-1</sup>. Si bien las diferencias de



rendimiento medio en grano de cebada entre antecesores con dosis de 0 y 100 kg de N no superaron los 300 kg de grano (1094 vs 1310), los verdaderos beneficios se detectaron al analizar los datos de proteína, los cuales aumentaron 2,1 unidades (Figura 6).

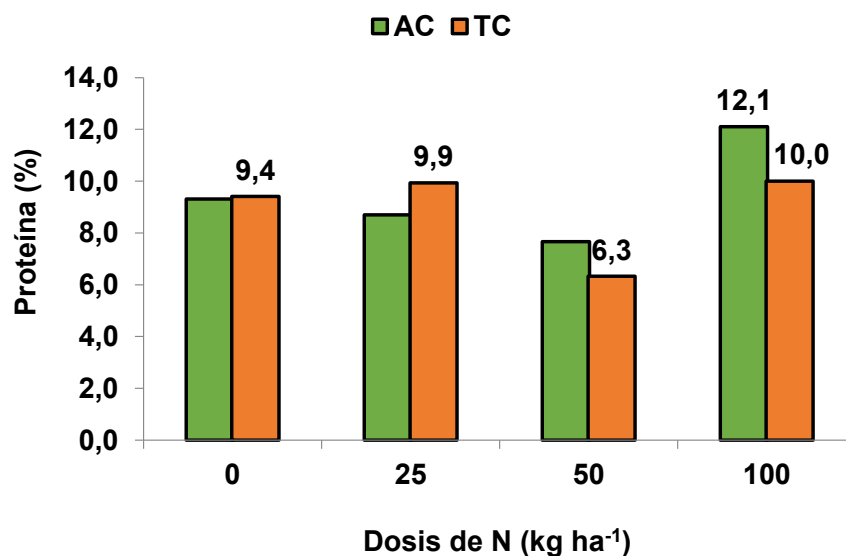


Figura 6. Porcentaje de proteína en grano vs dosis de fertilizante nitrogenado (kg ha<sup>-1</sup>).

### Conclusiones

La inclusión de leguminosas aumenta los rendimientos de los cultivos sucesores y disminuye el riesgo de la práctica de fertilización en la región semiárida.

El manejo de la fertilización bajo SD debe tener en cuenta un análisis integral de las variables edáficas, clima, prácticas agronómicas y cultivos antecesores, todas ellas interactúan al momento de evaluar cómo optimizar la eficiencia de uso de los nutrientes.

## Bibliografía consultada

- Azam F.; Malik K.A.; Sajjad M.I. 1986. Uptake by wheat plant and turnover within soil fractions of residual N from leguminous and inorganic fertilizer. *Plant and Soil*, 95: 97-108.
- Bray R.H. y Kurtz L.T. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorous in soils. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- Bullock D.G. 1992. Crop rotation. *Critical Reviews. Plant sciences* 11 (4): 309-326.
- Cattáneo M. 2013a. El cultivo de cebada en Argentina. IV Congreso Latinoamericano de Cebada. Bahía Blanca.
- Cattáneo M. 2013 b. Situación del cultivo y la industria en diferentes países del Cono Sur. IV Congreso Latinoamericano de Cebada. Bahía Blanca.
- Coronato M.L.; Minoldo G.V.; Galantini J.A.; Iglesias J.O. 2014. Efecto del cultivo de arveja sobre algunas propiedades edáficas y la productividad del trigo. *Actas XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo* Bahía Blanca.
- Duval M.E.; Galantini J.A.; Iglesias J.O.; Canelo S.; Martínez J.M. y Wall L. 2013. Analysis of organic fractions as indicators of soil quality under natural and cultivated systems. *Soil & Till. Res.* [131: 11-19](#).
- FAOSTAT, 2014. Datos de producción por cultivo, Cebada cerveza 2000-2013. <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/S>
- Galantini, J.A. 2005. Separación y análisis de las fracciones orgánicas. En L. Marban y S. Ratto (Eds.): *Manual "Tecnología en Análisis de Suelos: Alcances a laboratorios agropecuarios" de la AACs. Capítulo IV parte 2, 103-114*.
- Galantini J.A.; Iglesias J.O.; Rosell R.A.; Glave A. 1992. Rotación y fertilización en sistemas de producción de la región semiárida argentina I. Productividad (calidad y rendimiento) del trigo. *Rev. Fac. Agronomía UBA* [13 \(1\) 67-75](#).
- Galantini J.A.; Rosell R. 1997. Organic fractions, N, P, S changes in Argentine semiarid Haplustoll under different crop sequences. *Soil & Till. Res.* [42:221-228](#).
- Galantini J.A.; Rosell R.A.; Brunetti G.; Senesi N. 2002. Dinámica y calidad de las fracciones orgánicas de un Haplustol durante la rotación trigo-leguminosas. *Ciencia del Suelo* [20: 17-26](#).
- Galantini J.A.; Senesi N.; Brunetti G.; Rosell R.A. 2004. Influence of texture on the nitrogen and sulphur status and organic matter quality and distribution in semiarid Pampean grassland soils. *Geoderma* [123:143-152](#).
- García F.O. 2006. La nutrición de los cultivos y la nutrición de los suelos. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 29: 13-16. INPOFOS Cono Sur.
- Haynes, R.J., M.H. Beare. 1996. Aggregation and organic matter storage in mesothermal, humid soils. pp. 213-262. In M.R. Carter and B.A. Stewart (Ed.) *Adv. Soil Sci.* CRC.
- Landriscini M.R.; Martínez J.M.; Galantini J.A. 2015. Fertilización foliar con nitrógeno en trigo en el sudoeste bonaerense. *Ciencia del Suelo*, [33: 186-193](#).
- Miglierina A.M. 1991. Materia orgánica y sistemas de producción en la región semiárida.
- Miglierina A.; Iglesias J.; Landriscini M.; Galantini J.; Rosell R. 2000. The effects of crop rotations and fertilization on wheat productivity in semiarid Pampean region. 1. Soil physical and chemical properties. *Soil & Till. Res.* [53, 129-135](#).
- Minoldo G. 2010. Impacto de largo plazo de diferentes secuencias de cultivos del SO bonaerense sobre propiedades químicas del suelo y la productividad del trigo Tesis Magister Ccias Agrarias. UNS, 154 pp.
- Mulvaney R.L. 1996. Nitrogen – Inorganic forms. p. 1123-1184. In D.L. Sparks et al. (ed.) *Methods of soil analysis. Chemical properties.* SSSA 5. Madison, WI.
- Pastore R.; Teubal M. 1992. Articulaciones agroindustriales en el complejo cervecero. *Desarrollo Económico* 124: 523-544
- Prieto G. 2012. Las legumbres: arveja y garbanzo. Publicación INTAEEA Oliveros.
- Rosell R.A.; Gasparoni J.C.; Galantini J.A. 2001. Soil organic matter evaluation. En R Lal et al. (eds.). *Assessment Methods for Soil Carbon.* Serie *Advances in Soil Sci. Soc*, CRC Press, Boca Raton, FL. 311-322.
- Ruffo M.L.; Parsons A.T. 2004. Cultivos de cobertura en sistemas agrícolas. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 21: 13-16. INPOFOS Cono Sur.
- Sa Pereira E, M. Duval, J.A. Galantini. 2017. Decomposition from legume and non-legume crop residues: effects on soil organic carbon fractions under controlled conditions. *Spanish Journal of Soil Science* [7\(2\) 86-96](#)
- Tan Z.; Lal R.; Owens L.; Izaurralde R. C. 2007. Distribution of light and heavy fractions of soil organic carbon as related to land use and tillage practice. *Soil Till. Res.* 92: 53-59.
- Tomaso J.C. 2004 Cebada Cervecera en la Argentina. *Idia XXI* 6, Junio 2004.